

УДК 621.039

## ОЧИСТКА НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ

**И. А. Бессонов<sup>1</sup>, С. В. Чалпанов<sup>2</sup>, О. Л. Ташлыков<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> ilja.bessonov2014@yandex.ru

**Аннотация.** Показано преимущество использования цезиевых ловушек при выводе из эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах. Описан опыт их использования на БН-350 и рассмотрена возможность очистки натрия первого контура БН-600 аналогичным способом.

**Ключевые слова:** изотопы цезия, реакторы на быстрых нейтронах, натрий, вспененный углерод

## PURIFICATION OF FAST REACTORS PRIMARY SODIUM COOLANT FROM CESIUM RADIONUCLIDES

**I. A. Bessonov<sup>1</sup>, S. V. Chalpanov<sup>2</sup>, O. L. Tashlykov<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Ural Federal University named after the First  
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> ilja.bessonov2014@yandex.ru

**Abstract.** The advantage of using cesium traps in the decommissioning of fast reactors is shown. The experience of their use on the BN-350 is described and the possibility of purifying the sodium of the BN-600 primary circuit in the same way is considered.

**Keywords:** cesium isotopes, fast reactors, sodium, foamed carbon

**В** настоящее время окончательно остановлены три энергоблока Нововоронежской атомной электростанции (АЭС), по два — Белоярской и Ленинградской АЭС, один энергоблок Билибинской АЭС.

В ближайшее время будут выводиться из эксплуатации блоки АЭС, запущенные в эксплуатацию в 1970–1980-е гг. с учетом продления их проектного срока эксплуатации, в т. ч. 3-й энергоблок Белоярской АЭС с реактором на быстрых нейтронах.

Особенностью вывода из эксплуатации БН-600 от реакторов ВВЭР и РБМК является наличие больших объемов натрия.

Важной задачей при выводе АЭС из эксплуатации является очистка натрия от цезия ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), определяющего радиационную обстановку в первом контуре при работе реактора с негерметичными тепловыделяющими элементами (ТВЭлами). Для очистки натрия от цезия используют специальные ловушки с графитовым материалом. Графиты образуют с цезием устойчивые химические соединения — графитиды [1].

Использование таких ловушек позволит существенно улучшить радиационную обстановку, следовательно, снизить дозы облучения персонала, длительность и стоимость ремонта и демонтажа.

Реактор БН-350 с натриевым охлаждением эксплуатировался с 1972 г., обеспечивая население г. Актау (Казахстан) теплом и электричеством. Реактор был окончательно остановлен в 1999 г.

Согласно данным по изучению проб натрия, взятым в 2001 г., удельная активность радионуклидов  $^{22}\text{Na}$  и  $^{134}\text{Cs}$  в первом контуре реактора БН-350 составляла менее 3 % от радиоактивности  $^{137}\text{Cs}$ . Это означало, что приблизительно 259 тыс. Гбк (7 тыс. Ки) радиоактивного  $^{137}\text{Cs}$  в натрии первого контура являлось доминирующим радиоактивным источником, влияющим на последующую деятельность по выводу из эксплуатации. К тому времени концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в первом контуре составляла около 296 Бк/кг (8 нКи/кг). Такой уровень радиоактивности цезия значительно увеличивал степень риска и стоимость перевода реакторной установки в безопасное состояние (SAFSTOR). По этой причине было решено удалить максимально возможное количество цезия из теплоносителя перед его дренированием из первого контура.

Натриевый теплоноситель очищали от цезия и в период эксплуатации БН-350 на малогабаритных внутриреакторных адсорберах для выведения радионуклидов (МАВР), которые были спроектированы и изготовлены в Научно-исследовательском институте атомных реакторов (НИИАР). В качестве сорбента использовали обычный гранулированный малозольный графит типа ГМЗ-ОСЧ. Ловушки име-

ли форму обычной ТВС и устанавливались в ячейку активной зоны во время планово-предупредительных ремонтов. Натриевый теплоноситель прокачивался насосами первого контура при температуре натрия 260 °С. Первые две ловушки позволили снизить мощность дозы  $\gamma$ -излучения от трубопровода первого контура примерно в 4–5 раза. В результате четырех очисток из первого контура удалось вывести радионуклиды цезия Cs-134, Cs-137 суммарной активностью  $\approx 5,8 \cdot 10^{14}$  Бк. Применение отдельно смонтированной системы очистки позволило более глубоко очистить натрий и поверхности оборудования.

Система очистки натрия от цезия разработана на основании конструкции, которая успешно использовалась в экспериментальном реакторе EBR-2 и работает на принципе преимущественной адсорбции цезия из натриево-цезиевого раствора углеродом. Семь ловушек, содержащих стеклоуглеродный сорбент, соединялись с первым контуром для очистки натрия. Каждая ловушка работала до полного насыщения сорбента цезием, после чего вырезалась и замещалась новой. Очищенный натрий возвращался в систему и продолжал циркулировать в петлях первого контура. Было удалено 255,3 тыс. ГБк (6,9 тыс. Ки) (более 98 %) цезия-137 из первого контура, что привело к снижению удельной активности цезия в 800 раз до концентрации 0,37 МБк/кг (10 мкКи/кг) [2]. На рис. 1 показано, как изменялась масса и доля удаленной активности каждой ловушки.

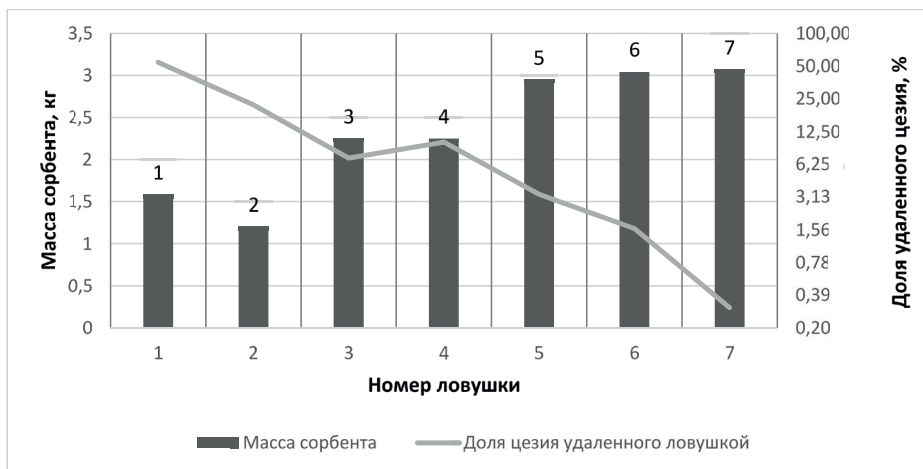


Рис. 1. Масса сорбента каждой ловушки и график изменения доли удаленной активности

На площадке Белоярской АЭС находится в эксплуатации энергоблок БН-600. В апреле 2010 г. было обосновано продление срока его эксплуатации и получена лицензия на эксплуатацию блока до 2025 г. В настоящее время ведутся подготовительные работы по обоснованию повторного продления срока эксплуатации блока до 2040 г. Поскольку останов и вывод из эксплуатации реакторной установки длительный и требует детальной подготовки и проработки проектных решений, целесообразно проанализировать разработанные для БН-350 технологии применительно к БН-600.

Для безопасного использования натрия первого контура БН-600 необходимо очистить от продуктов деления и других радионуклидов. Радиоактивность теплоносителя первого контура при работе реактора определяется  $^{24}\text{Na}$ , после останова реактора и распада  $^{24}\text{Na} \rightarrow ^{22}\text{Na}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , небольшой вклад вносят  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{54}\text{Mn}$ . Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  составляет 36–45 МБк/кг без учета поверхностного загрязнения этим изотопом оборудования и трубопроводов, контактирующих с натрием первого контура. Для выхода  $^{137}\text{Cs}$  их поверхностного слоя необходимо повысить температуру трубопроводов и оборудования, затем снизить температуру натрия. При этом  $^{137}\text{Cs}$  выйдет из поверхностного слоя металла в натрий, что увеличит удельную активность натрия первого контура примерно в 1,5–2 раза.

Цезиевые ловушки, примененные на БН-350, — одна из технологий, которая возможна для очистки натрия БН-600. По предварительной оценке, для очистки всего объема натрия от  $^{137}\text{Cs}$  может понадобиться до трех ловушек с 2,25 кг вспененного углерода [3].

### Список источников

1. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем : в 2 ч. / А. И. Бельтюков [и др.] ; под общ. ред. С. Е. Щеклеина, О. Л. Ташлыкова. Екатеринбург : УрФУ, 2013. Ч. 1. 548 с.
2. Обращение с натриевым теплоносителем реактора на быстрых нейтронах / И. Таджибаева [и др.] Алматы : НТЦ БЯТ, 2010.
3. Особенности вывода из эксплуатации быстрых реакторов БН-350, -600 / Ю. В. Носов [и др.] // Атом. энергия. 2018. Т. 125, № 4. С. 195–199.